

расчёт и позволяет более точно производить подбор оборудования. Расчётный метод показал несколько более высокие результаты, что может быть связано с геометрическими особенностями установки.

Таким образом, построенную модель можно использовать для расчета процессов теплообмена.

#### Список использованных источников

1. Денисов М. А. Автоматизированное проектирование в ANSYS и в КОМПАС-3D: учебное электронное текстовое издание. Екатеринбург : УрФУ, 2015. 264 с.
2. Королев В. Н. Тепломассообмен: учебное пособие. Екатеринбург : УрФУ, 2013. С. 126–128.

УДК 669.162

## СРАВНЕНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ В СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ПРОИЗВОДСТВА СТАЛИ

## COMPARISON OF ENERGY CONSUMPTION IN MODERN PRODUCTION TECHNOLOGIES OF STEEL

Войнов О. Ю., Лисиенко В. Г., Чесноков Ю. Н., Лаптева А. В.  
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург  
annalapteva@mail.ru

Voinov O. Yu., Lisienko V. G., Chesnokov Yu. N., Lapteva A. V.  
Ural Federal University, Ekaterinburg

**Аннотация:** Основные энергозатраты в современной цивилизации сосредоточены в технологиях производства стали. Без стали и других металлов наша цивилизация существовать не может. Приведены данные по энергозатратам при производстве стали различными методами, применяемые в настоящее время.

**Abstract:** The main power expenses in a modern civilization are

concentrated in production technologies of steel. Our civilization can not exist without steel and other metals. The data on power expenses by production of steel by various methods applied now are provided.

**Ключевые слова:** черная металлургия; энергопотребление; альтернативные процессы производства; чугун; сталь; сравнение процессов.

**Key words:** ferrous metallurgy; energy consumption; alternative processes of production; cast iron; steel; comparison of processes.

Современная цивилизация не может существовать без использования металлов. В частности, стали. Традиционно сталь выплавляется из передельного чугуна, получаемого в доменной печи (ДП). Чугун загружается в кислородный конвертер (КК) или электродуговую печь (ЭДП), где выгорает лишний углерод. Существуют способы бескоксового или внедоменного получения железа. Количество предложенных процессов бескоксовой металлургии около сотни, но находят практическое применение менее десятка. Описаны способы COF, DIOS, DORED, HyL, Midrex, Corex, Finex, AusIron, HIs melt, Technored, Ромелт [1–4]. Здесь рассмотрим четыре способа бескоксовой металлургии, которые в последующем будем анализировать.

Проводится поиск альтернативных методов переработки железосодержащих материалов, которые не требуют использования дорогостоящего кокса, обеспечивают экологически чистое производство, более высокое качество продукции, более эффективную переработку производственных отходов.

Процесс Ромелт является одностадийным процессом жидкофазного восстановления неподготовленных железосодержащих материалов. Восстановителем являются энергетические угли, поэтому в шихте процесса Ромелт отсутствует кокс [3]. Такой процесс реализован в городе Балхаше Казахстана, строится в городе Мьянго Бирмы. Процесс был отработан на опытной установке на Новолипецком металлургическом комбинате.

Процесс Midrex – это метод прямого восстановления железа горячим восстановительным газом. Используется шахтная печь, на выходе которой – металлизированные окатыши, на входе – окатыши или брикеты. В процессе Мидрекс для получения горячего восстановительного газа применен принцип конвертирования природного газа диоксидом углерода и водяными парами с рециркуляцией колошникового газа. На Оскольском электрометаллургическом комбинате работают четыре модуля металлизации общей мощностью 1,7 млн т металлизированных окатышей в год [2].

Процесс HyL-3 – это также метод прямого восстановления железа горячим восстановительным газом. В HyL-3 используется шахтная печь. На входе шахтной печи – окатыши разного сорта и смеси окатышей с кусковой рудой и с горячим восстановительным газом, на выходе – губчатое железо. По способу HyL-3 с шахтной печью работают три установки в Мексике общей мощностью 3 млн т/год.

Процесс Corex содержит два основных агрегата: нижний плавильный реактор-газификатор – аналог печи жидкофазного восстановления, верхний восстановительный реактор в виде шахтной печи, из которой выходит губчатое железо. Источником тепла является уголь, который поступает в газификатор. В шахтную печь подается руда и восстановительный газ. Губчатое железо из шахтной печи поступает в плавильный реактор, на выходе которого получается чугун. Такой процесс реализован в Южной Африке.

Основа шихтовых материалов ЭДП переменного тока – стальной лом (75–100 %) [4, 5]. Для повышения содержания углерода в шихте используют чугун (не более 10–30 %), кокс и электродный бой.

Анализ энергопотребления в технологических процессах существующими методиками определения тепловых энергетических балансов отдельно взятых переделов не позволяет найти показатели использования топливных энергоресурсов на конечную продукцию. Здесь требуется проведение сквозных суммарных расчётов

энергоёмкости технологического продукта. В наиболее представительном виде такая методика (методика расчёта технологических топливных чисел) была детально разработана (а далее успешно развивалась и применялась) в работах ученых УГТУ-УПИ и Уралэнергочермета (Лисиенко В. Г., Розин С. Е., Щелоков Я. М. и др.) в 80-х годах XX века [5, 6]. Разработанная методика имеет ряд особенностей, отличающих её от других методик и позволяющих объективно проводить энергетический анализ или анализ эффективности использования энергии в процессе.

С целью выделения из полной энергоёмкости продукции плохо пока определяемую энергоёмкость человеческого труда и был введен показатель сквозного энергетического анализа – технологическое топливное число (ТТЧ) – равное суммарным расходам всех видов энергии в данном и во всех предшествующих производствах, пересчитанные на необходимое для их получения первичное топливо, за вычетом ТТЧ полученных вторичных энергетических ресурсов. Методика использования ТТЧ процесса позволяет сравнивать удельные энергоёмкости на отдельных видов продукции по различным отраслям промышленности, определять основные источники потерь энергии, направления её экономии, объективные результаты энергосберегающих мероприятий в отдельных технологических процессах.

Результаты анализа современных металлургических процессов приведены в таблице.

Ранжирование тандемов процессов по энергоёмкости стали  
(значения ТТЧ для стали выделены) [7]

Ранг по ТТЧ	Технологическая цепь	Передел	Выходной продукт	ТТЧ продукта, кг у. т./т
1	ЭДП на ломе	ЭДП	сталь	<b>441,0</b>
2	НyuL-3 + ЭДП	Нyu1-3	губчатое железо	769,5
		ЭДП	сталь	<b>629,7</b>
3	Corex + ЭДП	Corex	чугун	931,0
		ЭДП	сталь	<b>632,3</b>

4	ДП + ЭДП	ДП	чугун	936,0
		ЭДП	сталь	<b>633,8</b>
5	Midrex + ЭДП	Midrex	губчатое железо	798,4
		ЭДП	сталь	<b>639,2</b>
6	Ромелт + ЭДП	Ромелт	чугун	1 078
		ЭДП	сталь	<b>680,6</b>
7	ДП + КК	ДП	чугун	936,0
		КК	сталь	<b>916,6</b>

### Выводы

Наименьшее значение ТТЧ стали получено в технологии ЭДП на ломе. Однако, ориентироваться на ЭДП сложно, так как лома для них не хватает.

Самый предпочтительный процесс с точки энергозатрат – НуL-3. Однако его производительность значительно ниже производительности ДП с ЭДП.

Достаточно хорошими данными обладает тандем ДП + ЭДП.

### Список использованных источников

1. Свинолобов, Н. П. Печи чёрной металлургии : учеб. пособие для вузов / Н. П. Свинолобов, В. Л. Бровкин. – Днепропетровск : Пороги, 2004. – 154 с.
2. Юсфин, Ю. С. Металлургия железа : учеб. для вузов / Ю. С. Юсфин, Н. Ф. Пашков. – М. : ИКЦ «Академкнига», 2007. – 464 с.
3. Роменец, В. А. Процесс Ромелт : учеб. для вузов / В. А. Роменец [и др.]; под ред. В. А. Роменца. – М. : МИСиС, Изд. дом «Руда и металлы», 2005. – 400 с.
4. Воскобойников, В. Г. Общая металлургия : учеб. для вузов / В. Г. Воскобойников, В. А. Кудрин, А. М. Якушев. М. : Металлургия, 1998. 768 с.
5. Лисиенко, В. Г. Топливо. Рациональное сжигание, управление и технологическое использование : справочное издание: в 3-х кн. Кн. 1 / В. Г. Лисиенко, Я. М. Щелоков, М. Г. Ладыгичев; под ред. В. Г. Лисиенко. – М. : Теплотехник, 2004. – 608 с.
6. Лисиенко, В. Г. Альтернативная металлургия: проблема легирования, модельные оценки эффективности : монография / В. Г. Лисиенко, Н. В. Соловьева, О. Г. Трофимова; под ред. В. Г. Лисиенко. – М. : Теплотехник, 2007. – 440 с.
7. Лисиенко, В. Г. Анализ энергоёмкости и эмиссии CO<sub>2</sub> при различных сочетаниях коксовых и бескоковых процессов при производстве стали / В. Г. Лисиенко, Ю. Н. Чесноков, А. В. Лаптева // Металлург. 2015. № 5. С. 18–24.